

## CONVERTISSEUR ELEVATEUR DE TENSION

L'invention concerne un convertisseur élévateur de tension, ou « boost converter » en langue anglaise, permettant d'obtenir à partir une tension continue d'entrée une tension continue de sortie de valeur plus 5 élevée que la tension d'alimentation.

Il s'avère parfois nécessaire, pour alimenter certains dispositifs électroniques, notamment ceux destinés à l'aéronautique, de générer des tensions électriques de niveau élevé, à partir d'un générateur commun d'alimentation basse tension. Les « boost converter » utilisés à cet effet sont 10 des convertisseurs à découpage non isolés pour conserver des rendements élevés et des dimensions réduites.

La figure 1a montre un schéma de principe d'un convertisseur élévateur de tension de l'état de l'art.

Le circuit de la figure 1a est alimenté, par deux bornes d'entrée A 15 et B, par un générateur E de tension d'entrée continue  $V_{in}$  et fourni une tension continue de sortie  $V_{out}$  sur une charge  $R_{out}$  en parallèle sur une capacité  $C_{out}$ . Le pôle positif du générateur E est connecté, à travers une inductance  $L_{in}$  et une diode  $D_d$ , à une borne C de la résistance  $R_{out}$  en parallèle avec la capacité  $C_{out}$ , l'autre borne D de la résistance  $R_{out}$  étant 20 connectée au pôle négatif du générateur E. Un interrupteur  $Int$  connecté, d'une part, au point de connexion de l'inductance  $L_{in}$  et la diode  $D_d$  et, d'autre part, au pôle négatif du générateur E, assure périodiquement la mise en parallèle de l'inductance  $L_{in}$  avec le générateur E.

L'interrupteur  $Int$  est commandé à l'état passant pendant le temps 25  $T_{on}$  et ouvert pendant le temps  $T_{off}$ . La diode  $D_d$  est conductrice pendant le temps  $T_{off}$  et ouverte pendant le temps  $T_{on}$ . On appelle  $\alpha = T_{on}/(T_{on}+T_{off})$  le rapport cyclique.

La figure 1b montre le signal de commande de l'interrupteur  $Int$  du « boost converter ».

30 Lorsque  $Int$  est fermé, pendant le temps  $T_{on}$ , l'inductance  $L_{in}$  voit à ses bornes la tension  $V_{in}$  du générateur E. Le courant  $I_{in}$  dans cette inductance croît de la valeur :

$$\Delta I_{in} = V_{in} \cdot T_{on} / L_{in}$$

Lorsque l'interrupteur Int est ouvert et que la diode Dd conduit, c'est à dire pendant le temps Toff, l'inductance Lin voit à ses bornes la différence entre la tension d'entrée Vin et la tension de sortie Vout. Le courant ILin dans cette inductance décroît donc de la valeur :

5  $\Delta ILin_{Toff} = ((Vin-Vout).Toff)/Lin$

Le régime d'équilibre est atteint lorsque la somme de ces deux variations est nulle, soit :

$$((Vin-Vout).Toff)/Lin + Vin.Ton/Lin = 0$$

qui conduit à l'expression de la tension d'équilibre :

10  $Vout = Vin/(1-\alpha)$

$\alpha$  étant compris entre 0 et 1, la tension de sortie Vout est donc plus élevée que la tension d'entrée Vin, la structure de la figure 1a est celle d'un élévateur de tension.

La figure 1c montre le courant dans le « boost converter » de la 15 figure 1a.

En pratique, l'interrupteur Int peut être avantageusement réalisé par des semi-conducteurs. On peut citer, de façon non limitative les transistors MOS et bipolaires, les IGBT ou MCT.

Les convertisseurs élévateurs de tension de l'état de l'art comportent 20 des limitations. En effet, il est difficile d'obtenir des rapports de tension Vout/Vin supérieurs à 5 tout en conservant un rendement du convertisseur optimal. En effet, l'interrupteur est soumis à la fois à de très fort courants et des tensions élevées.

D'autres structures non isolées peuvent être utilisées. On peut par 25 exemple citer le convertisseur boost à autotransformateur ou la mise en série de deux convertisseurs boost. Toutes ces solutions ne présentent malheureusement pas les performances de rendement attendues.

Afin de pallier les inconvénients des dispositifs élévateurs de tension de l'état de l'art, l'invention propose un convertisseur élévateur de tension 30 comportant :

- une paire de bornes d'entrée A et B pour connecter une tension continue d'entrée Vin entre ces deux bornes ;
- une paire  $P_0$  d'interrupteurs SB, SH en série connectée par l'interrupteur SB à la borne d'entrée B, la borne d'entrée A étant connectée à 35 travers une inductance d'entrée Lin au point de connexion entre les deux

interrupteurs SB et SH en série, chaque interrupteur SB, SH comportant des moyens de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état passant l'autre dans un état isolé ;

- une paire de bornes de sortie C et D, pour alimenter, par une tension de sortie Vout, une charge Rout, la borne de sortie D étant connectée à la borne d'entrée B, caractérisé en ce qu'il comporte :

- K autres paires supplémentaires  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_{K-1}, P_K$  d'interrupteurs en série avec la paire  $P_0$  entre la borne de sortie C et l'interrupteur SH avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$ , les deux interrupteurs d'une même paire supplémentaire  $P_i$  étant connectés à travers une inductance de récupération d'énergie  $L_{ri}$  ;

- K groupes d'entrée,  $Gin_1, Gin_2, \dots, Gin_i, \dots, Gin_{K-1}, Gin_K$ , de  $Ni$  capacités  $C$  de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$  et  $Ni = i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque groupe d'entrée étant connectée au point commun entre les deux interrupteurs SB, SH de la paire  $P_0$ , au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes d'entrée étant connectée respectivement au point commun entre chaque l'interrupteur  $SH_i$  et l'inductance de récupération  $L_{ri}$  de la paire correspondante  $P_i$  de même rang  $i$ ,

- K groupes de sortie,  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_{K-1}, Gout_K$ , de  $Mi$  capacités  $C$  de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K$  et  $Mi = (K+1) - i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités des groupes de sortie étant connectée à la borne de sortie C, au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes de sortie étant connectée respectivement au point de connexion entre deux paires d'interrupteurs consécutives  $P_{i-1}$  et  $P_i$  ;

en ce que les interrupteurs de ces autres  $K$  paires supplémentaires sont commandés pour former, lorsque l'interrupteur SB de la paire  $P_0$  relié à la borne B est commandé dans l'état passant pendant un temps  $Ton$ , un premier réseau de capacités connecté d'une part à travers l'interrupteur SB à la borne B et, d'autre part, à la borne C, comportant les groupes de capacités d'entrée en série avec les groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $Gin_i$  est en série avec son respectif groupe de capacités de sortie  $Gout_i$ ,

et en ce que lorsque l'interrupteur SB de la paire  $P_0$  relié à la borne d'entrée B est commandé dans l'état isolé pendant un temps  $T_{off}$  ces autres K paires d'interrupteurs forment un second réseau de capacités connecté à la borne A à travers l'inductance d'entrée  $L_{in}$  comportant le groupe d'entrée 5  $G_{in_K}$  en parallèle avec le groupe de sortie  $G_{out_1}$ , en parallèle avec des groupes de capacités d'entrée en série avec des groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $G_{in_{i-1}}$  se trouve en série avec un groupe de capacités de sortie  $G_{out_i}$ .

La tension  $V_{out}$  en sortie du convertisseur est fonction du rapport 10 cyclique  $\alpha = T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ , les capacités C des réseaux ayant une même valeur, la tension  $V_{out}$  est donnée par la relation :

$$V_{out} = (V_{in}/(1-\alpha)).(K+1)$$

Les interrupteurs comportent une entrée de commande (moyen de commande) pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par 15 l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande, l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande complémentaire du premier.

En pratique, les interrupteurs peuvent être avantageusement réalisés par des semi-conducteurs. On peut citer, de façon non limitative les 20 transistors MOS et bipolaires, les IGBT ou MCT.

Le convertisseur comporte en outre une capacité  $C_{out}$  de filtrage de sortie en parallèle sur la charge  $R_{out}$  entre les bornes de sortie C et D.

Dans une réalisation d'un convertisseur élévateur, selon l'invention, fournissant une tension de sortie  $V_{out}$  positive, le potentiel de la borne A est 25 supérieur au potentiel de la borne B, le potentiel de la borne de sortie C est supérieur au potentiel de la borne de sortie D.

Dans une autre réalisation d'un convertisseur élévateur de tension, selon l'invention, fournissant une tension négative, le potentiel de la borne A est inférieur au potentiel de la borne B, le potentiel de la borne de sortie C 30 est alors inférieur au potentiel de la borne de sortie D.

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'exemples de réalisations selon l'invention, en référence aux dessins indexés, dans lesquels :

- La figure 1a, déjà décrite, montre un schéma de principe d'un convertisseur élévateur de tension de l'état de l'art ;

- la figure 1b montre le signal de commande de l'interrupteur Int du « boost converter » de la figure 1a ;
- la figure 1c montre le courant dans le « boost converter » de la figure 1a ;

5 - la figure 2 montre la structure générale du convertisseur selon l'invention comportant K paires d'interrupteurs supplémentaires ;

- la figure 3a représente un exemple de réalisation d'un convertisseur élévateur de tension à deux étages, selon l'invention, sans l'inductance de récupération ;

10 - la figure 3b montre la structure d'une version négative du convertisseur de la figure 3a ;

- la figure 4a montre une structure simplifiée du convertisseur élévateur de tension de la figure 3a ;
- la figure 4b montre la structure d'une version négative du convertisseur de la figure 4a ;

15 - la figure 5a montre le convertisseur élévateur de tension de la figure 3a comportant une inductance de récupération d'énergie ;

- la figure 5b montre une première version d'une impédance  $Z_i$  pour fiabiliser le convertisseur selon l'invention ;

20 - la figure 5c montre une autre impédance  $Z_i$  pour fiabiliser le convertisseur selon l'invention ;

- la figure 5d montre une version simplifiée du convertisseur élévateur de tension de la figure 5a ;

25 - la figure 6 montre un schéma équivalent du convertisseur de la figure 5a selon l'invention pendant le temps  $T_{on}$  ;

- la figure 6a montre un schéma équivalent du convertisseur de la figure 5d selon l'invention pendant le temps  $T_{on}$  ;

30 - la figure 7 montre les signaux de commande des interrupteurs SB et SB1 du convertisseur de la figure 5a ;

- la figure 7a montre les signaux de commande de l'interrupteurs SB du convertisseur de la figure 5d ;

35 - la figure 8 montre la variation du courant dans l'inductance de récupération d'énergie du convertisseur de la figure 5a ;

- la figure 8a montre la variation du courant dans l'inductance de récupération d'énergie du convertisseur de la figure 5d ;

- la figure 9 représente l'espace énergétique de l'inductance de récupération  $Lr_1$  et de la capacité  $Ceq$  de la figure 6 ;

5 - la figure 10a représente une première structure pratique du convertisseur selon l'invention ne comportant pas d'interconnexion entre les capacités d'un même niveau de potentiel ;

- la figure 10b représente la version négative du convertisseur de la figure 10a ;

- la figure 11 représente une autre structure pratique comportant des interconnexions entre les capacités d'un même niveau de potentiel ;

10 - la figure 12 représente la version négative du convertisseur de la figure 11.

La figure 2 montre la structure générale du convertisseur élévateur de tension selon l'invention comportant  $K$  paires d'interrupteurs supplémentaires. Le convertisseur de la figure 2 comporte, en outre, une 15 capacité  $Cout$  de filtrage de sortie en parallèle sur la charge  $Rout$  entre les bornes de sortie C et D.

Dans la structure générale du « boost converter » de la figure 2 selon l'invention les tensions  $Vc$  aux bornes des capacités des groupes d'entrée  $Gin_i$  ou des groupes de sortie  $Gout_i$  ont une même valeur continue, ainsi, les 20 capacités situées à un même niveau de potentiel peuvent être reliées entre elles. On peut ainsi réaliser simplement différentes structures du convertisseur élévateur de tension que nous verrons par la suite.

La figure 3a représente un exemple de réalisation d'un convertisseur élévateur de tension à deux étages (une seule paire supplémentaire), selon 25 l'invention, sans l'inductance de récupération, comportant deux paires d'interrupteurs  $P_0$  et  $P_1$ , ayant chacune deux interrupteurs connectés en série. Les interrupteurs SB, SH pour la paire  $P_0$  et les interrupteurs  $SB_1$ ,  $SH_1$  pour la paire supplémentaire  $P_1$ . Chaque interrupteur d'une paire comporte une entrée de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état 30 passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande  $C1$ , l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande  $C2$  complémentaire du premier.

La figure 3b représente la version de tension négative du 35 convertisseur élévateur de tension à deux étages de la figure 3a. Le

convertisseur de la figure 3b, de même structure que celui de la figure 3a, est alimenté par un générateur E fournissant un potentiel  $V_{in}$  négatif entre les bornes A et B d'entrée. La polarité de la capacité de sortie  $C_{out}$  est alors inversée.

5 La figure 4a montre une structure simplifiée du convertisseur élévateur de la figure 3a comportant deux paires d'interrupteurs. Dans cette structure simplifiée, les interrupteurs  $SB_1$ ,  $SH_1$  de la paire  $P_1$  sont remplacés par des diodes  $DB_1$ ,  $DH_1$ . L'interrupteur  $SH$  de la paire  $P_0$  connecté à la paire  $P_1$  est aussi remplacé par une diode  $DH$ , seul l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$   
10 doit être conservé. La cathode d'une diode d'une paire ( $P_0$ ) est connectée à l'anode de la diode de la paire suivante ( $P_1$ )

La figure 4b montre la structure simplifiée de la version négative de du convertisseur élévateur de la figure 3b. Dans cette structure de la figure 4b « miroir » de la structure de la figure 4a, l'anode de la diode d'une paire  $(P_0)$  est connectée à la cathode de la diode de la paire suivante ( $P_1$ ). Comme pour la version de tension négative du convertisseur de la figure 3b la polarité de la capacité de sortie  $C_{out}$  est inversée.

La figure 5a montre le convertisseur élévateur de tension de la figure 3a comportant une inductance de récupération d'énergie  $L_{r1}$  permettant une amélioration du rendement du convertisseur. La capacité d'entrée est désignée par  $C_e$  et la capacité de sortie par  $C_s$ .

Nous allons, par la suite, expliquer le fonctionnement du convertisseur élévateur de tension de la figure 5a selon l'invention.

La figure 6 montre un schéma équivalent du convertisseur de la figure 5a selon l'invention comportant l'inductance de récupération  $L_{r1}$ , pendant la période  $T_{on}$  correspondant à la période de conduction des interrupteurs des deux paires  $SB$  et  $SB_1$ . Pendant ce temps  $T_{on}$  les interrupteurs  $SB$  et  $SB_1$  sont fermés, les interrupteurs  $SH$  et  $SH_1$  sont ouverts, la capacité de sortie  $C_{out}$  est en parallèle avec les deux capacités  $C_e$  et  $C_s$  en série avec l'inductance  $L_{r1}$  de récupération.

L'inductance de récupération  $L_{r1}$  est calculée pour obtenir une résonance du circuit oscillant de la figure 6 telle que :

$$T_{on} = \pi \sqrt{L_{r1} \cdot C_{eq}}$$

avec

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_{out}} + \frac{1}{Ce} + \frac{1}{Cs}}$$

Pour un résultat optimal, Ton est constant et égal à environ la demi-période de la fréquence de résonance du circuit équivalent de la figure 6.

La figure 6a montre un schéma équivalent du convertisseur de la 5 figure 5d selon l'invention pendant le temps Ton.

Dans le cas de la figure 6a, la diode DB1 ouvre automatique le circuit de résonance à l'annulation du courant dans l'inductance  $Lr_1$ . Dans ce cas, il suffit que la relation suivante soit respectée :

$$Ton \geq \pi \sqrt{Lr_1 \cdot C_{eq}}$$

10 La figure 7 montre les signaux de commande des interrupteurs SB et SB1 du convertisseur de la figure 5a. Les autres interrupteurs sont commandés de façon complémentaire.

La figure 8 montre la variation du courant  $ILr_1$  dans l'inductance de récupération d'énergie  $Lr_1$  ainsi que la somme des tensions ( $Vce + Vcs$ ) aux 15 bornes des respectives capacités d'entrée  $Ce$  et de sortie  $Cs$  (convertisseur de la figure 5a).

Au temps  $t_1$  lors du passage de  $Toff$  à  $Ton$ , le courant dans l'inductance est nul, la tension ( $Vce + Vcs$ ) aux bornes des capacités  $Ce$  et  $Cs$  est inférieure à la valeur moyenne de  $Vout$  et croît en passant par la 20 valeur moyenne de  $Vout$ , le courant dans l'inductance  $Lr_1$  augmente en emmagasinant de l'énergie magnétique, passe par une valeur maximum lorsque ( $Vce+Vcs$ ) passe par la valeur moyenne de  $Vout$ , puis le courant décroît jusqu'à une valeur nulle, correspondant à la fin de  $Ton$ , rendant l'énergie aux capacités  $Ce$  et  $Cs$ . Pendant  $Toff$ , le courant dans l'inductance 25  $Lr_1$  reste nul, la somme des tensions ( $Vce+Vcs$ ) décroît car  $Ce$  et  $Cs$  sont parcourues par le courant de l'inductance  $Lin$ , puis le cycle recommence au début de  $Ton$ .

La figure 7a montre les signaux de commande de l'interrupteurs SB du convertisseur de la figure 5d. La figure 8a montre la variation du 30 courant dans l'inductance de récupération d'énergie du convertisseur de la figure 5d.

La figure 9 représente l'espace énergétique de l'inductance de récupération  $Lr_1$  et de la capacité  $Ceq$  du convertisseur. L'axe des abscisses représente l'énergie capacitive  $Wc$  l'axe des ordonnées l'énergie inductive  $WLr_1$ , la variation d'énergie entre l'inductance et les capacités se produisant 5 dans le temps  $Ton$ . L'énergie est transférée des capacités vers l'inductance de récupération puis rendue aux capacités.

L'accord du circuit du convertisseur à la fréquence de fonctionnement avec l'inductance de récupération  $Lr_1$  diminue considérablement les pertes de rééquilibrage de charges dans les capacités 10  $Ce$  et  $Cs$  dans le circuit du « boost converter» selon l'invention. Ces pertes deviennent alors pratiquement nulles. Cette amélioration du convertisseur de la figure 3a avec inductances de récupération est applicable dans le cas général à  $K$  paires supplémentaires d'interrupteurs (voir figure 2).

En outre, afin de rendre plus fiable le convertisseur élévateur selon 15 l'invention, le convertisseur représenté à la figure 5d comporte en parallèle avec l'inductance de récupération  $Lr_1$  en série avec l'interrupteur  $SH_1$  de la paire  $P_1$  une impédance  $Z_1$ .

En effet, en pratique, le  $Ton$  ne représente pas parfaitement la demi-période de résonance du circuit équivalent de la figure 6, l'impédance  $Z_1$  20 permet de dissiper le courant résiduel et protéger les interrupteurs qui sont généralement des transistors MOS.

Cette amélioration du convertisseur de la figure 5a est applicable dans le cas général, ainsi chaque paire supplémentaire  $P_i$  du convertisseur selon l'invention comporte en parallèle avec l'inductance de récupération  $Lr_i$  25 en série avec l'interrupteur  $SH_i$  de la paire  $P_i$  une impédance  $Z_i$ .

La figure 5b montre une première version de l'impédance  $Z_i$  pour fiabiliser le convertisseur selon l'invention. L'impédance  $Z_i$  comporte une diode  $Ddz$  en série avec une résistance  $r$ , l'anode de la diode  $Ddz$  étant reliée, dans le circuit du convertisseur, à l'inductance de récupération et dans 30 une seconde version, montrée à la figure 5c, une autre impédance  $Z_i$  comporte la diode  $Ddz$  en série avec une diode zéner  $Dz$ , les deux cathodes de la diode  $Dd$  et la diode zéner  $Dz$  étant reliées entre elles, l'anode de la diode  $Ddz$  étant reliée, dans le circuit du convertisseur, à l'inductance de récupération.

D'autres types d'impédance  $Z_i$  pour dissiper l'énergie résiduelle de l'inductance  $Lr_i$  peuvent bien sur être utilisés, par exemples des cellules RC ou RCD utilisées classiquement dans le domaine de l'électronique de puissance.

5 La figure 5d montre une version simplifiée du convertisseur élévateur de tension de la figure 5a comportant deux paires d'interrupteurs  $P_0$  et  $P_1$  et une inductance de récupération  $Lr_1$ . Dans cette structure simplifiée, les interrupteurs  $SB_1$  et  $SH_1$  de la paire  $P_1$  sont remplacés par des diodes  $DB_1$  et  $DH_1$ . L'interrupteur  $SH$  de la paire  $P_0$  connecté à la paire  $P_1$  est 10 aussi remplacé par une diode  $DH$ , seul l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  doit être conservé, la cathode d'une diode d'une paire étant connectée à l'anode de la diode de la paire suivante. Comme dans le convertisseur élévateur de la figure 5a utilisant des interrupteurs, les deux diodes de la paire  $P_1$  sont reliées en série à travers une inductance de récupération  $Lr_1$ .

15 La réalisation du convertisseur élévateur de tension simplifié avec des diodes reste valable pour un nombre quelconque de paires supplémentaires, ainsi, dans le cas général, les interrupteurs  $SB_i$  et  $SH_i$  des paires  $P_i$  supplémentaires sont remplacés respectivement par des diodes  $DB_i$  et  $DH_i$ . L'interrupteur  $SH$  de la paire  $P_0$  connecté à la paire  $P_1$  est une diode 20  $DH$ , seul l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  doit être conservé. La cathode d'une diode d'une paire  $P_{i-1}$  étant connectée à l'anode de la diode de la paire suivante  $P_i$ . Comme dans le convertisseur élévateur avec des interrupteurs de la figure 5a, les deux diodes de la paire  $P_i$  sont reliées en série à travers une inductance de récupération  $Lr_1$ .

25 L'explication du fonctionnement du convertisseur série comportant l'inductance de récupération  $Lr_1$  à deux paires ( $K=1$ ) reste valable pour un nombre quelconque de  $K$  paires supplémentaires. En effet, les courants dans les différentes paires  $P_i$  et dans l'inductance de récupération correspondante  $Lr_i$  sont les mêmes, le nombre de capacités élémentaires  $C$  dans les groupes 30 mis en série par les interrupteurs étant les mêmes.

La structure générale du convertisseur élévateur de tension représentée à la figure 2 permet de réaliser simplement différentes autres structures pratiques et de déterminer directement la valeur des capacités dans chaque branche d'entrée ou de sortie.

En effet, comme cela a été dit précédemment, dans la structure générale de la figure 2 comportant des capacités C de même valeur, les tensions  $V_c$  aux bornes de chacune des capacités sont les mêmes pour les groupes d'entrée et les mêmes pour les groupes de sortie, de ce fait, les 5 capacités d'un même niveau de potentiel peuvent être connectées en partie ou en totalité en parallèle.

Les capacités d'un même niveau de potentiel  $Nin_1$  sont, par exemple, toutes celles des groupes d'entrée  $Gin_1, Gin_2, \dots, Gin_i, \dots, Gin_{K-1}, Gin_K$  ayant une électrode connectée au point commun entré les deux interrupteurs de la 10 paire  $P_0$ , d'un niveau de potentiel  $Nin_2$ , toutes celles connectées par une électrode aux électrodes libres des capacités du niveau  $Nin_1$  et par l'autre électrode à celles du niveau suivant  $Nin_3$  et ainsi de suite jusqu'au niveau  $Nin_K$ .

De même, pour les capacités des groupes de sortie, nous aurons le 15 niveau  $Nout_1$  pour toutes celles des groupes de sortie  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_{K-1}, Gout_K$  ayant une électrode connectées au point commun entre les deux paires d'interrupteurs  $P_0$  et  $P_1$ , d'un niveau de potentiel  $Nout_2$  toutes celles connectées par une électrode aux électrodes libres des capacités du niveau  $Nout_1$  et par l'autre électrode à celles du 20 niveau suivant  $Nout_3$  et ainsi de suite jusqu'au niveau  $Nout_K$ .

Les traits en pointillés sur le schéma de la figure 2 représentent les connexions possibles entre les capacités C de même valeur.

La figure 10a représente une première structure pratique du convertisseur selon l'invention ne comportant pas d'interconnexions entre les 25 capacités d'un même niveau de potentiel, chacun des groupes d'entrée  $Gin_i$  ou de sortie  $Gout_i$  comporte respectivement une seule capacité  $Cea_1, Cea_2, \dots, Cea_i, \dots, Cea_K$ , pour les groupes d'entrée  $Gin_i$  et  $Csa_1, Csa_2, \dots, Csa_i, \dots, Csa_K$ , pour les groupes de sortie  $Gout_i$ .

La valeur de chacune des capacités d'entrée  $Cea_i$  se déduit 30 simplement de la structure générale par le calcul de la capacité résultante des  $Ni=i$  capacités C en série, avec  $i=1, 2, \dots, K$ , i étant l'ordre du groupe d'entrée considéré :

$$\begin{array}{ll} Cea_1 = C & i=1 \\ 35 \quad Cea_2 = C/2 & i=2 \end{array}$$

## 12

$$\dots$$

$$C_{ea_i} = C/i \quad i$$

$$\dots$$

$$C_{ea_K} = C/K \quad i=K$$

5

La valeur de chacune de ces capacités de sortie  $C_{sa_i}$  se déduit simplement de la structure générale par le calcul de la capacité résultante de  $M_i = (K+1) - i$  capacités  $C$  en série,  $i$  étant l'ordre du groupe de sortie considéré

:

10

$$C_{sa_1} = C/K \quad i=1$$

$$C_{sa_2} = C/(K-1) \quad i=2$$

....

$$C_{sa_i} = C/(K+1)-i \quad i$$

15

.....

$$C_{sa_K} = C \quad i=K$$

La figure 10b représente la première structure pratique du convertisseur de la figure 10a dans une version négative ne comportant pas 20 d'interconnexions entre les capacités d'un même niveau de potentiel.

La figure 11 représente une autre structure pratique du convertisseur selon l'invention, dans une version positive, comportant des interconnexions entre les capacités d'un même niveau  $N_v$  de potentiel (capacités en parallèle), la structure comporte un seul groupe d'entrée  $G_{in}$  et un seul 25 groupe de sortie  $G_{out}$ . La capacité d'entrée  $C_{eb_i}$ , pour chacun des niveaux de potentiel  $N_{in_i}$ , connectée entre les points de connexion des interrupteurs de deux paires consécutives  $P_i, P_{i-1}$ , sera déduite simplement en calculant la capacité  $C_{eb_i}$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $N_{in_i}$  de potentiel considéré, soit :

30

$$C_{eb_1} = C \cdot K \quad i=1$$

$$C_{eb_2} = C \cdot (K-1) \quad i=2$$

....

$$C_{eb_i} = C \cdot ((K+1)-i) \quad i$$

35

.....

$$C_{ebK} = C \quad i=K$$

La capacité de sortie  $C_{sb_i}$  de chacun des niveaux de potentiel  $Nout_i$ , connectée en parallèle avec sa respective paire d'interrupteurs  $P_i$  sera 5 déduite simplement en calculant la capacité  $C_{sb_i}$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $Nout_i$  considéré,  $i$  étant l'ordre du niveau de potentiel en sortie considéré, soit :

$$\begin{aligned}
 10 \quad C_{sb_1} &= C & i=1 \\
 C_{sb_2} &= C \cdot 2 & i=2 \\
 \dots & & \\
 C_{sb_i} &= C \cdot ((K+1)-i) & i \\
 \dots & & \\
 C_{sb_K} &= C \cdot K & i=K
 \end{aligned}$$

15

La figure 12 représente le convertisseur élévateur de tension de la figure 11, dans une version simplifiée de tension négative, comportant des interconnexions entre les capacités d'un même niveau  $Nv$  de potentiel. Dans cette version simplifiée, les interrupteurs  $SB_i$  et  $SH_i$  des paires  $P_i$  20 supplémentaires sont remplacés respectivement par des diodes  $DB_i$  et  $DH_i$ . L'interrupteur  $SH$  de la paire  $P_0$  connecté à la paire  $P_1$  est une diode  $DH$ , seul l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  doit être conservé. L'anode d'une diode d'une paire  $P_{i-1}$  étant connectée à la cathode de la diode de la paire suivante  $P_i$ . Le convertisseur de la figure 12, de même structure que celui de la figure 11, est 25 alimenté par un générateur  $E$  fournissant un potentiel  $V_{in}$  négatif entre les bornes  $A$  et  $B$  d'entrée. La tension  $V_{out}$  étant négative, la polarité de la capacité de sortie  $C_{out}$  est alors inversée.

Dans d'autres réalisations on peut, bien entendu, combiner les deux types de réalisations pratiques en mettant des capacités en parallèle pour 30 certains groupes et en série pour d'autres.

On peut aussi réaliser des structures de conversion en combinant plusieurs convertisseurs en parallèle, qu'ils soient positifs et/ou négatifs. Les signaux de commande des convertisseurs de la structure de conversion peuvent alors être avantageusement déphasés de façon à réduire les

ondulations de courant d'entrée et/ou de sortie des convertisseurs élévateurs.

Le convertisseur élévateur selon l'invention permet d'obtenir des rendements supérieurs aux convertisseurs élévateurs de tension de l'état de 5 l'art avec des rapports de tension  $V_{out}/V_{in}$  bien supérieurs à cinq.

## REVENDICATIONS

1. convertisseur élévateur de tension comportant :
  - une paire de bornes d'entrée A et B pour connecter une tension continue d'entrée  $V_{in}$  entre ces deux bornes ;
  - 5 - une paire  $P_0$  d'interrupteurs SB, SH en série connectée par l'interrupteur SB à la borne d'entrée B, la borne d'entrée A étant connectée à travers une inductance d'entrée  $L_{in}$  au point de connexion entre les deux interrupteurs SB et SH en série, chaque interrupteur SB, SH comportant des moyens de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état 10 passant l'autre dans un état isolé ;
    - une paire de bornes de sortie C et D, pour alimenter, par une tension de sortie  $V_{out}$ , une charge  $R_{out}$ , la borne de sortie D étant connectée à la borne d'entrée B, caractérisé en ce qu'il comporte :
      - K autres paires supplémentaires  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_{K-1}, P_K$  15 d'interrupteurs en série avec la paire  $P_0$  entre la borne de sortie C et l'interrupteur SH avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$ , les deux interrupteurs d'une même paire supplémentaire  $P_i$  étant connectés à travers une inductance de récupération d'énergie  $L_{r_i}$  ;
        - K groupes d'entrée,  $G_{in_1}, G_{in_2}, \dots, G_{in_i}, \dots, G_{in_{K-1}}, G_{in_K}$ , de  $N_i$  20 capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$  et  $N_i = i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque groupe d'entrée étant connectée au point commun entre les deux interrupteurs SB, SH de la paire  $P_0$ , au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes d'entrée étant connectée respectivement au point 25 commun entre chaque l'interrupteur  $SH_i$  et l'inductance de récupération  $L_{r_i}$  de la paire correspondante  $P_i$  de même rang  $i$  ;
          - K groupes de sortie,  $G_{out_1}, G_{out_2}, \dots, G_{out_i}, \dots, G_{out_{K-1}}, G_{out_K}$ , de  $M_i$  30 capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K$  et  $M_i = (K+1) - i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités des groupes de sortie étant connectée à la borne de sortie C, au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes de sortie étant connectée respectivement au point de connexion entre deux paires d'interrupteurs consécutives  $P_{i-1}$  et  $P_i$  ;

en ce que les interrupteurs de ces autres K paires supplémentaires sont commandés pour former, lorsque l'interrupteur SB de la paire  $P_0$  relié à la borne B est commandé dans l'état passant pendant un temps  $T_{on}$ , un premier réseau de capacités connecté d'une part à travers l'interrupteur SB à la borne B et, d'autre part, à la borne C, comportant les groupes de capacités d'entrée en série avec les groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $G_{in_i}$  est en série avec son respectif groupe de capacités de sortie  $G_{out_i}$ ,

et en ce que lorsque l'interrupteur SB de la paire  $P_0$  relié à la borne d'entrée B est commandé dans l'état isolé pendant un temps  $T_{off}$  ces autres K paires d'interrupteurs forment un second réseau de capacités connecté à la borne A à travers l'inductance d'entrée  $L_{in}$  comportant le groupe d'entrée  $G_{in_K}$  en parallèle avec le groupe de sortie  $G_{out_1}$ , en parallèle avec des groupes de capacités d'entrée en série avec des groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $G_{in_{i-1}}$  se trouve en série avec un groupe de capacités de sortie  $G_{out_i}$ .

2. Convertisseur élévateur de tension selon la revendication 1, caractérisé en ce que la tension  $V_{out}$  en sortie du convertisseur est fonction du rapport cyclique  $\alpha = T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ , les capacités C des réseaux ayant une même valeur, la tension  $V_{out}$  est donnée par la relation :

$$V_{out} = (V_{in}/(1-\alpha)).(K+1).$$

3. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il fournit une tension de sortie  $V_{out}$  positive, le potentiel de la borne A étant supérieur au potentiel de la borne B, le potentiel de la borne de sortie C étant supérieur au potentiel de la borne de sortie D.

4. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les interrupteurs  $SB_i$  et  $SH_i$  des paires  $P_i$  supplémentaires sont des diodes  $DB_i$  et  $DH_i$ , et en ce que l'interrupteur  $SH$  de la paire  $P_0$  connecté à la paire  $P_1$  est une diode  $DH$ , seul l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  étant conservé, la cathode d'une diode d'une paire  $P_{i-1}$  étant connectée à l'anode de la diode de la paire suivante  $P_i$ .

5. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte une première impédance  $Z_i$  ayant une diode Ddz en série avec une résistance  $r$ , l'anode de la diode Ddz étant reliée, dans le circuit du convertisseur, à l'inductance de récupération  $Lr_1$ .

5

6. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte une autre impédance  $Z_i$  ayant une diode Ddz en série avec une diode zéner Dz, les deux cathodes de la diode Ddz et la diode zéner Dz étant reliées entre elles, l'anode de la diode Ddz étant reliée, dans le circuit du convertisseur, à l'inductance de récupération.

10

7. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que chacun des groupes d'entrée  $Gin_i$  ou de sortie  $Gout_i$  comporte respectivement une seule capacité  $Cea_1, Cea_2, \dots, Cea_i, \dots, Cea_K$  pour le groupe d'entrée  $Gin_i$  et  $Csa_1, Csa_2, \dots, Csa_i, \dots, Csa_K$ , pour les groupes de sortie  $Gout_i$ .

15 et en ce que la valeur de chacune des capacités d'entrée  $Cea_i$  est déduite de la structure générale par le calcul de la capacité résultante des  $Ni=i$  capacités C en série, avec  $i=1, 2, \dots, K$ , i étant l'ordre du groupe d'entrée 20 considéré :

$$\begin{aligned}
 Cea_1 &= C & i=1 \\
 Cea_2 &= C/2 & i=2 \\
 &\dots & \\
 25 \quad Cea_i &= C/i & i \\
 &\dots & \\
 Cea_K &= C/K & i=K
 \end{aligned}$$

30 la valeur de chacune de ces capacités de sortie  $Csa_i$  étant déduite de la structure générale par le calcul de la capacité résultante de  $Mi=(K+1)-i$  capacités C en série, i étant l'ordre du groupe de sortie considéré :

$$\begin{aligned}
 Csa_1 &= C/K & i=1 \\
 Csa_2 &= C/(K-1) & i=2 \\
 35 \quad &\dots &
 \end{aligned}$$

$$C_{sa_i} = C/(K+1)-i \quad i$$

.....

$$C_{sa_K} = C \quad i=K$$

5 8. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications

1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte des interconnexions entre les capacités d'un même niveau  $Nv$  de potentiel, la structure ayant un seul groupe d'entrée  $Gin$  et un seul groupe de sortie  $Gout$ , et en ce que la capacité d'entrée  $Ceb_i$ , pour chacun des niveaux de potentiel  $Nin_i$ , connectée 10 entre les points de connexion des interrupteurs de deux paires consécutives  $P_i$ ,  $P_{i-1}$ , sera déduite simplement en calculant la capacité  $Ceb_i$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $Nin_i$ , de potentiel considéré, soit :

$$Ceb_1 = C.K \quad i=1$$

$$Ceb_2 = C.(K-1) \quad i=2$$

....

$$Ceb_i = C.((K+1)-i) \quad i$$

.....

$$Ceb_K = C \quad i=K$$

20

la capacité de sortie  $Csb_i$  de chacun des niveaux de potentiel  $Nout_i$ , connectée en parallèle avec sa respective paire d'interrupteurs  $P_i$  sera déduite simplement en calculant la capacité  $Csb_i$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $Nout_i$  considéré,  $i$  étant l'ordre du niveau de potentiel 25 en sortie considéré, soit :

$$Csb_1 = C \quad i=1$$

$$Csb_2 = C.2 \quad i=2$$

....

$$Csb_i = C.((K+1)-i) \quad i$$

.....

$$Csb_K = C.K \quad i=K$$

9. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une capacité Cout de filtrage de sortie en parallèle sur la charge Rout entre les bornes de sortie C et D.

5 10. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce qu'il fournit une tension négative, le potentiel de la borne A étant inférieur au potentiel de la borne B, le potentiel de la borne de sortie C étant inférieur au potentiel de la borne de sortie D.

10 11. Convertisseur élévateur de tension selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les interrupteurs sont des semiconducteurs comportant une entrée de commande (moyen de commande) pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande, 15 l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande complémentaire du premier.

12. Structure de conversion caractérisée en ce qu'elle comporte plusieurs convertisseurs positifs et/ou négatifs, selon l'une des 20 revendications 1 à 11, en parallèle.

13. Structure de conversion selon la revendication 12, caractérisée en ce que les signaux de commande des convertisseurs de la structure de conversion sont déphasés de façon à réduire les ondulations de courant 25 d'entrée et/ou de sortie des convertisseurs élévateurs.

1/11

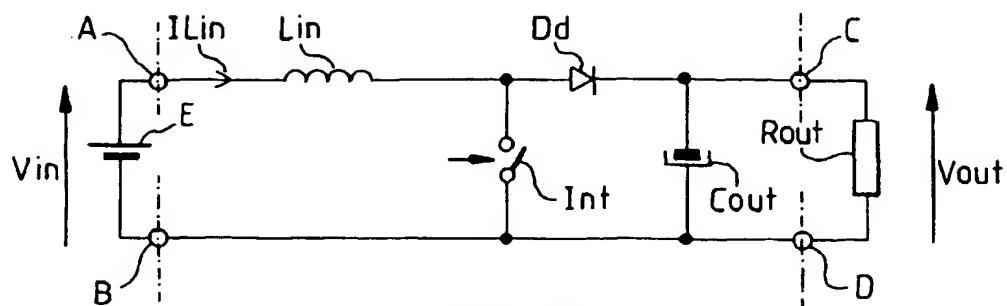


FIG.1a

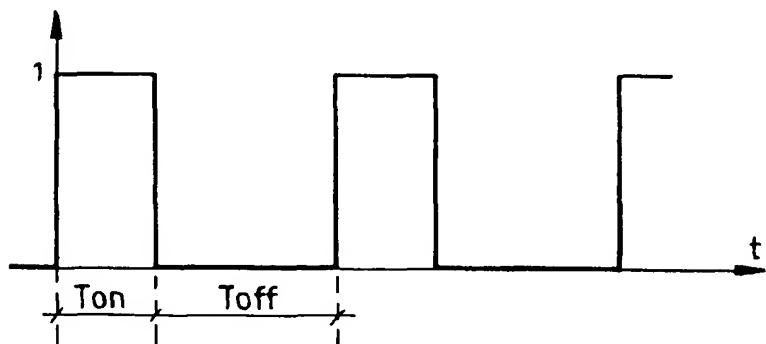


FIG.1b

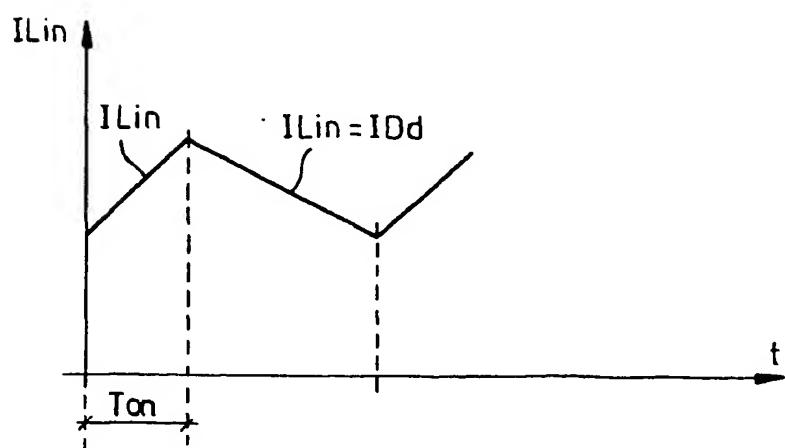


FIG.1c

2/11

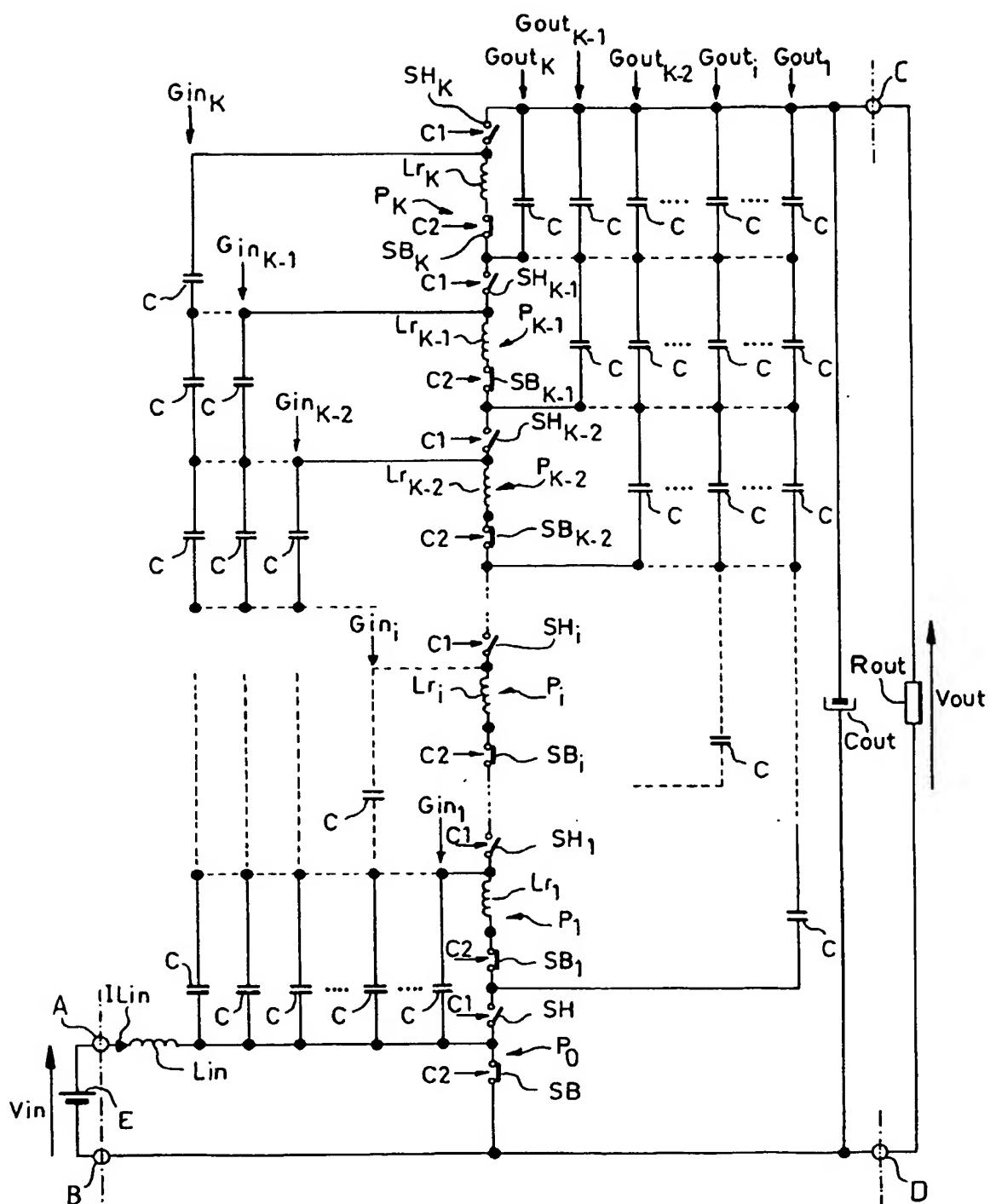


FIG.2

3/11

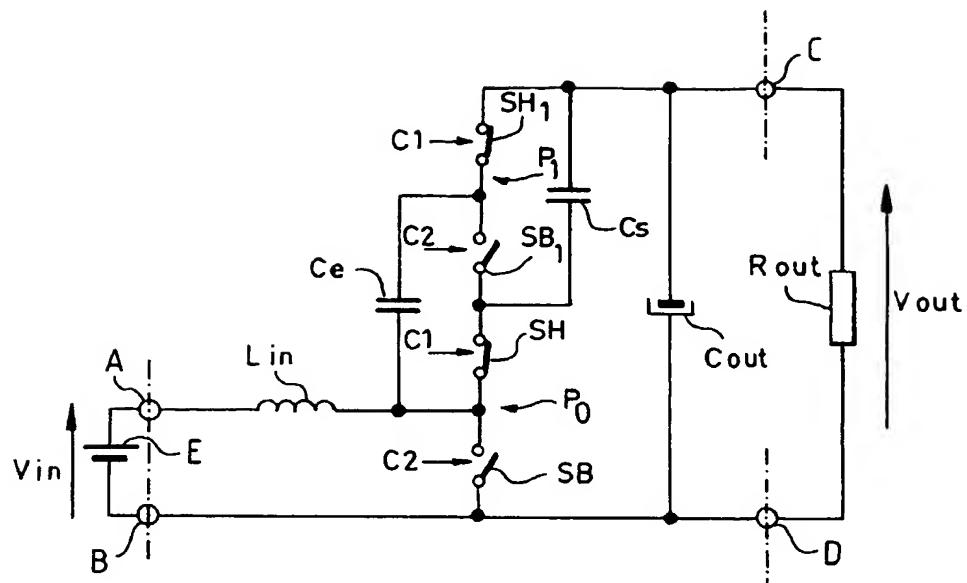


FIG.3a

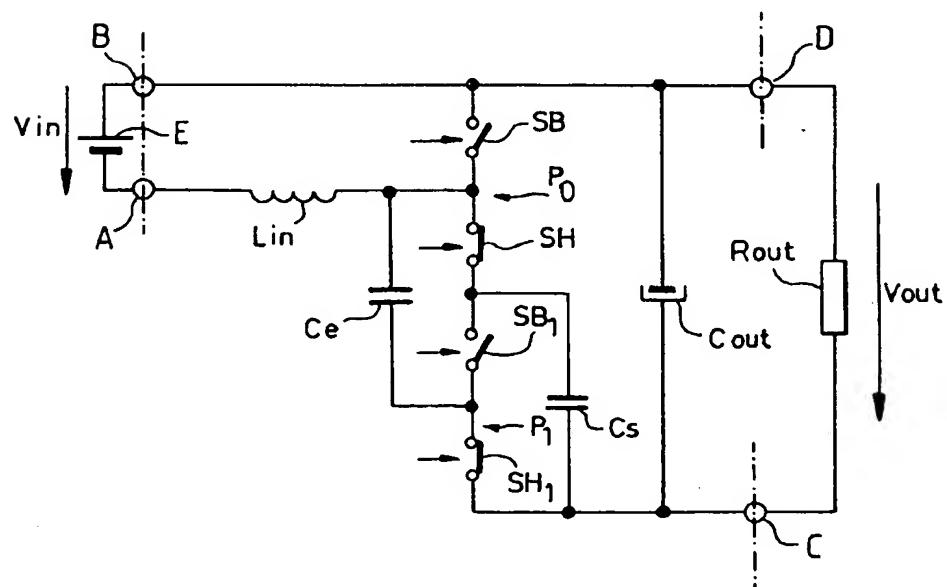


FIG.3b

4/11

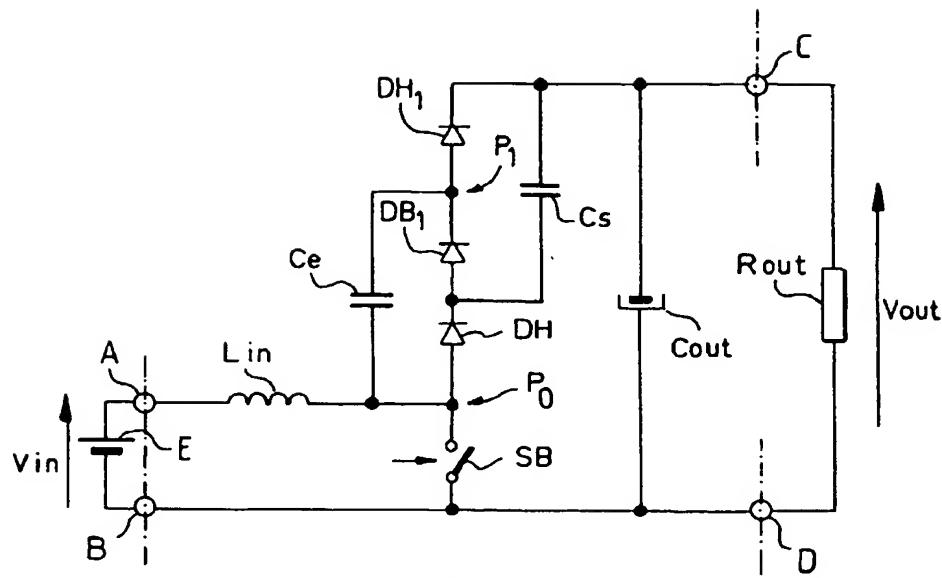


FIG. 4a

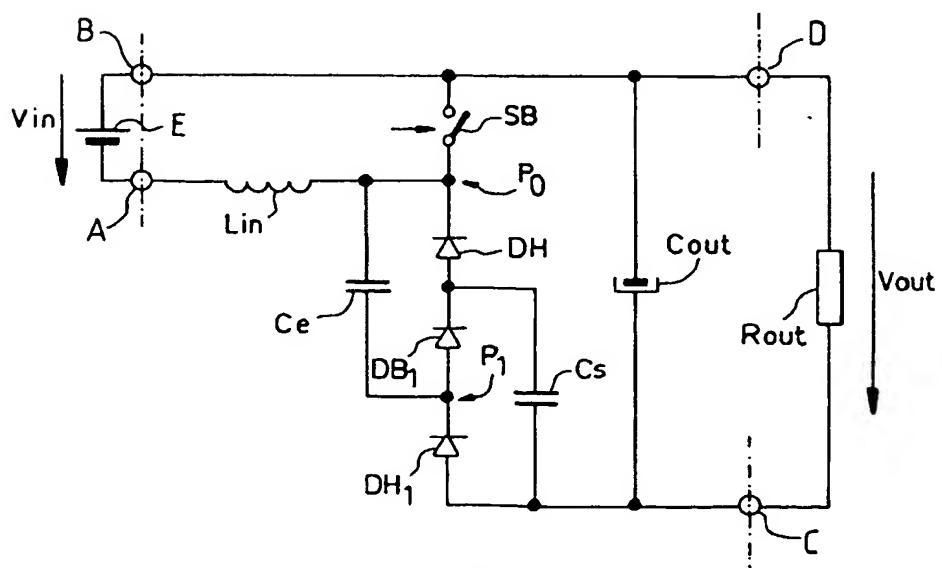


FIG. 4b

5/11

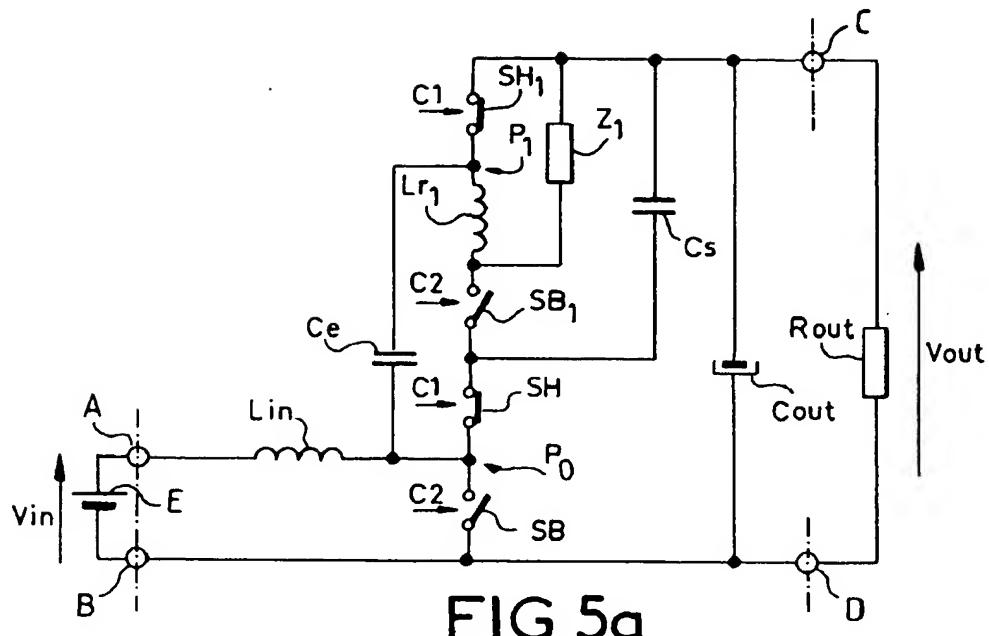


FIG. 5a

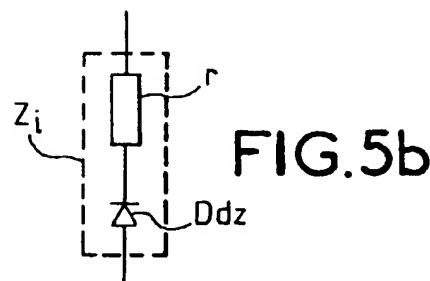


FIG. 5b

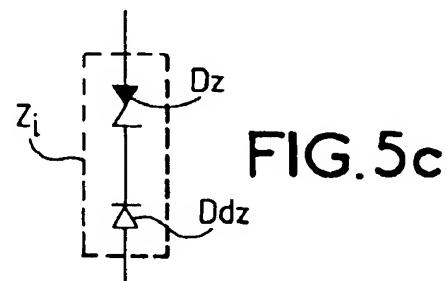


FIG. 5c

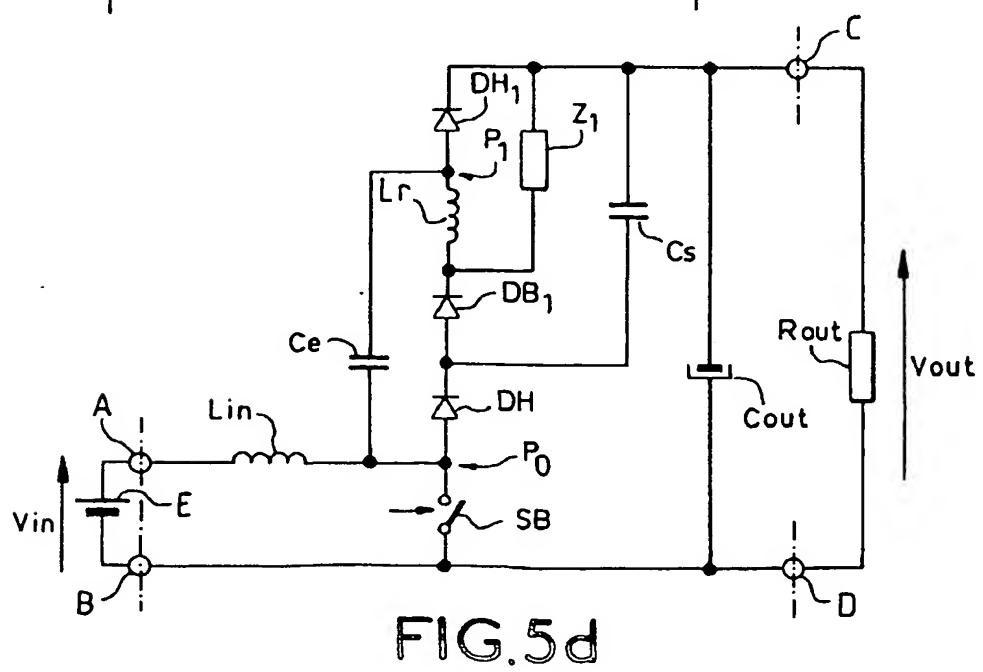


FIG. 5d

6/11

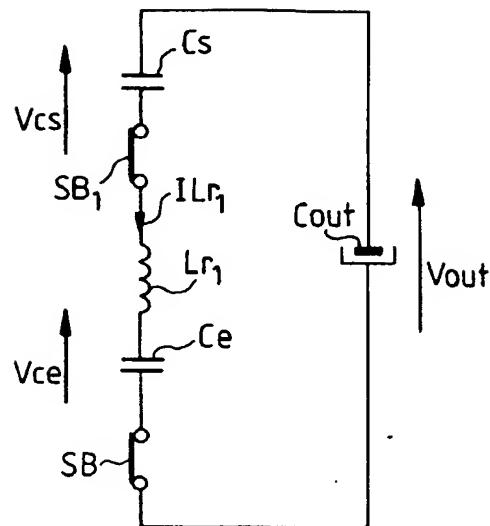


FIG.6

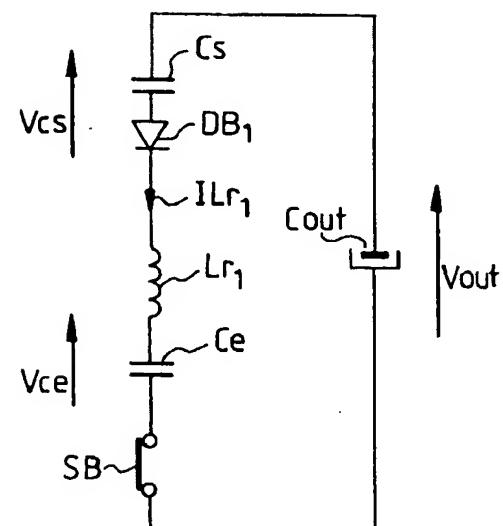


FIG.6a

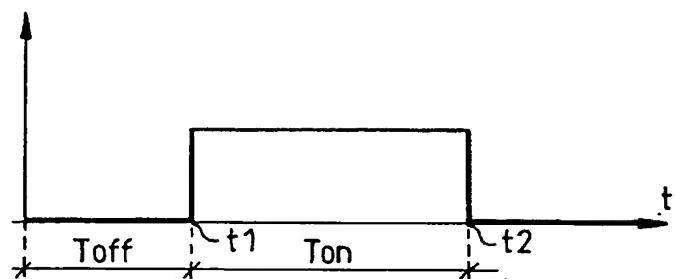


FIG.7

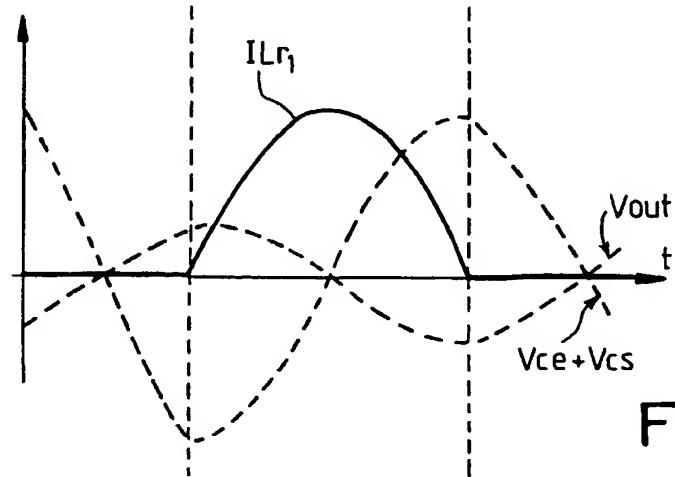
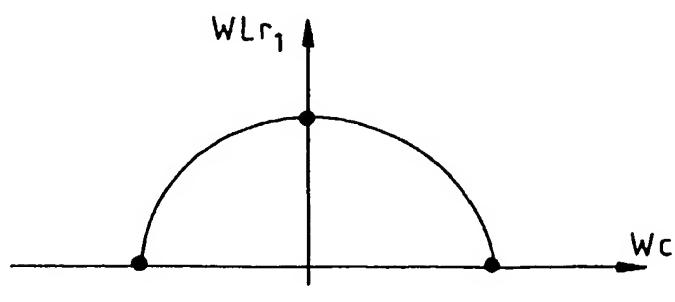
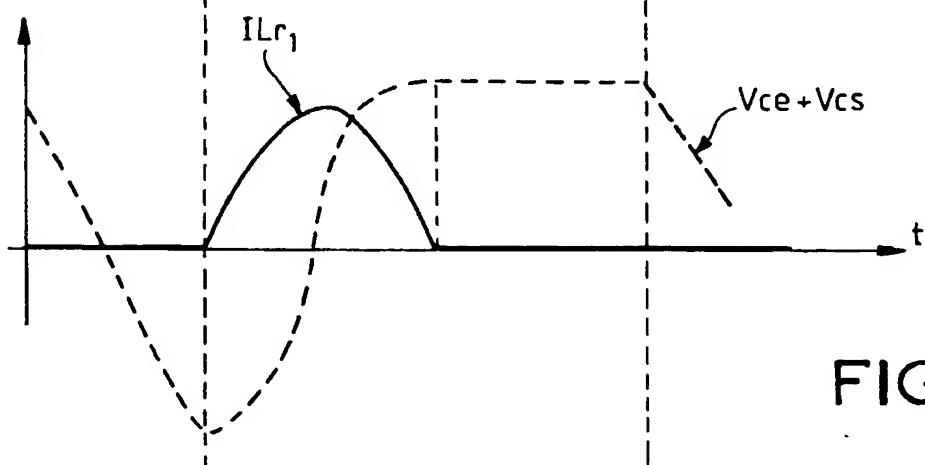
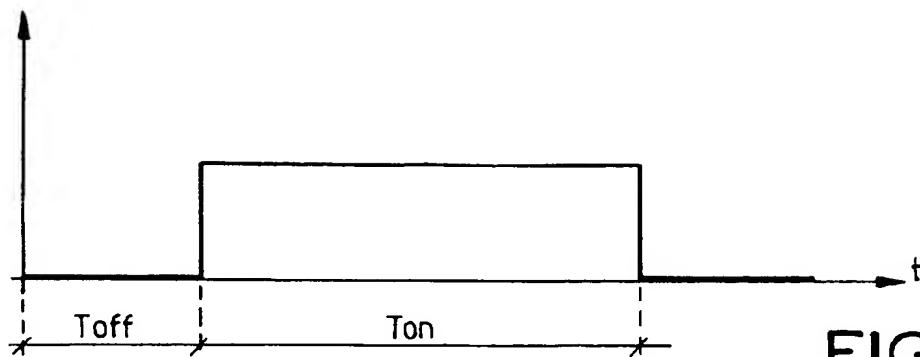


FIG.8

7/11



8/11

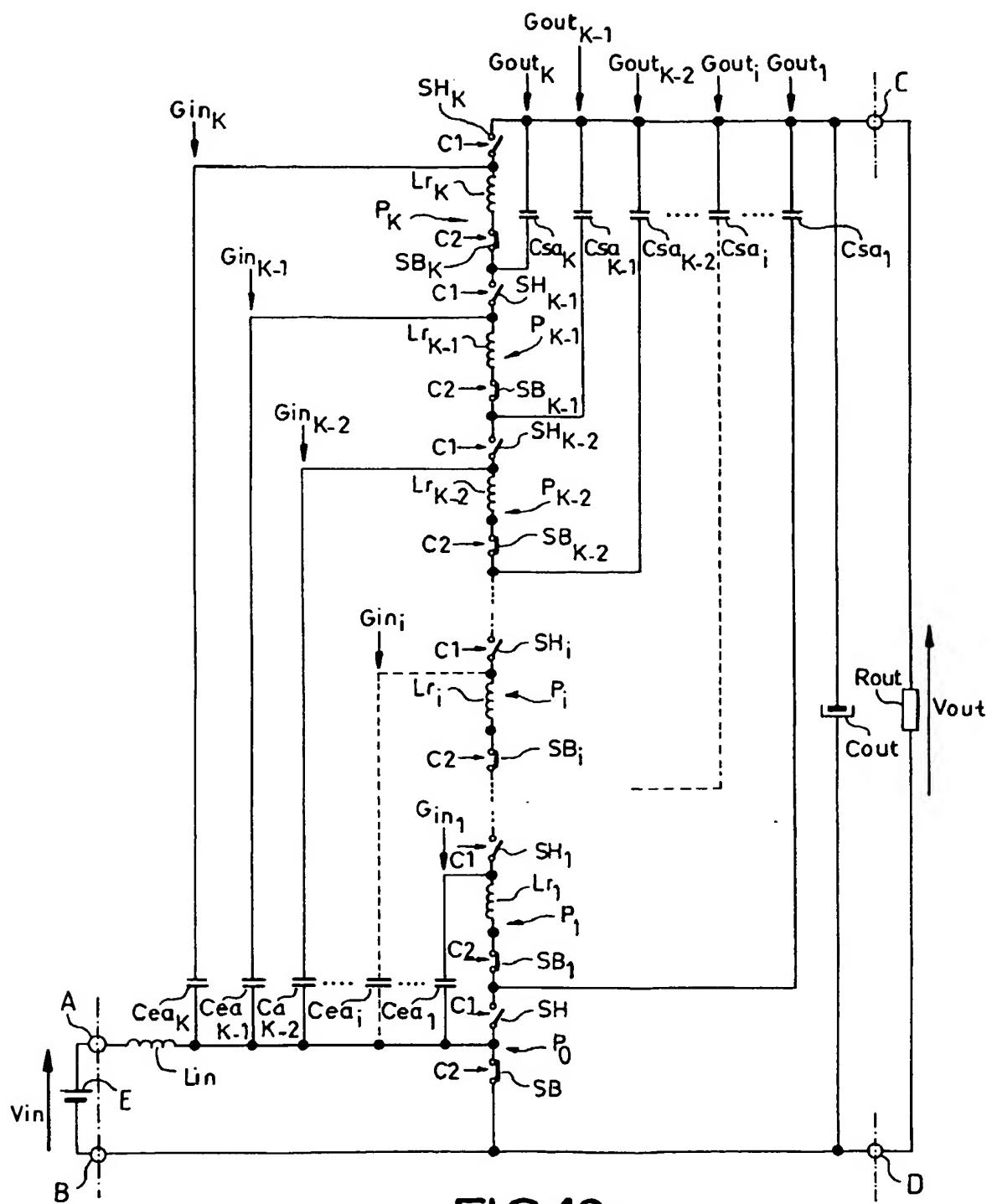


FIG.10a

9/11

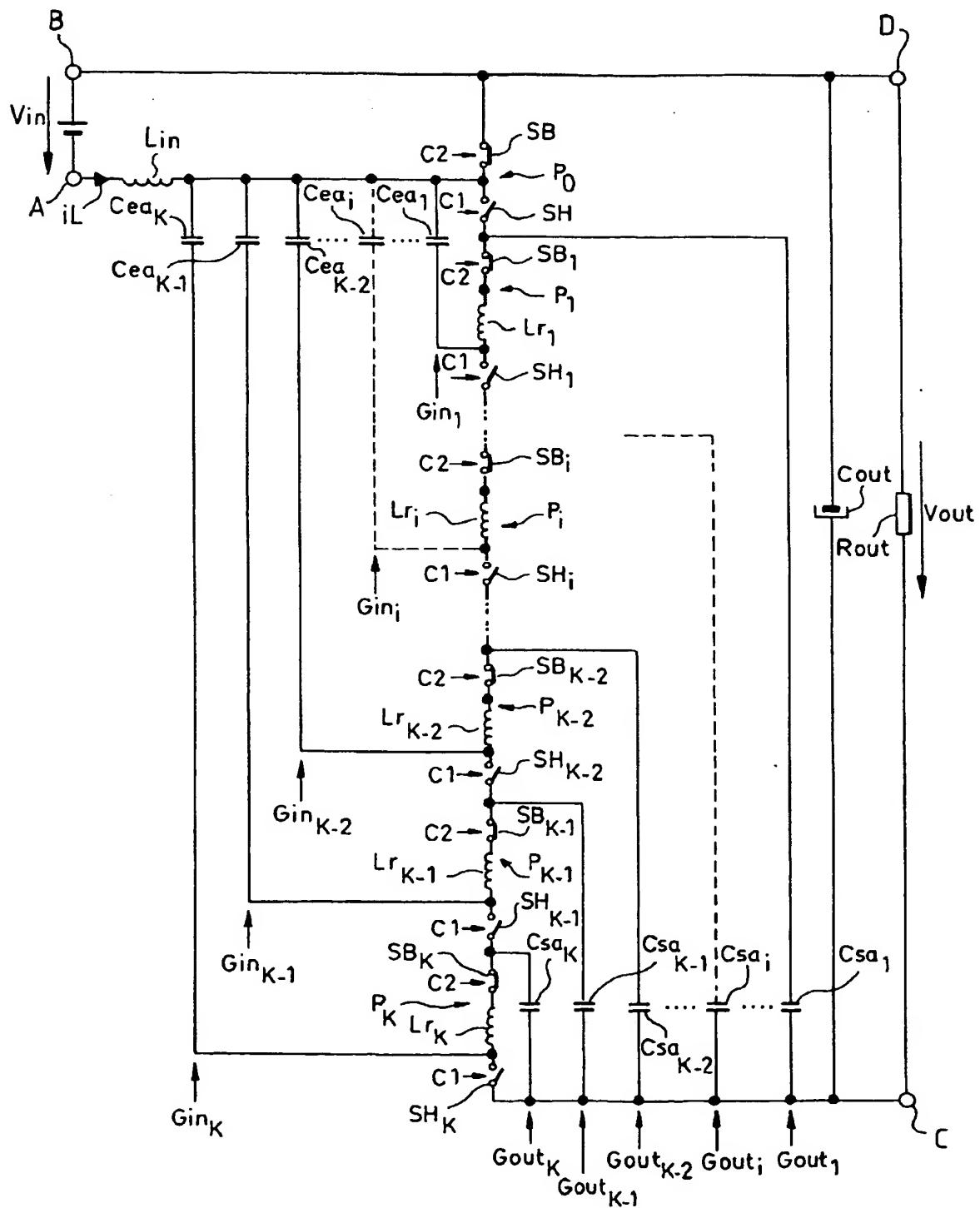


FIG.10b

10/11

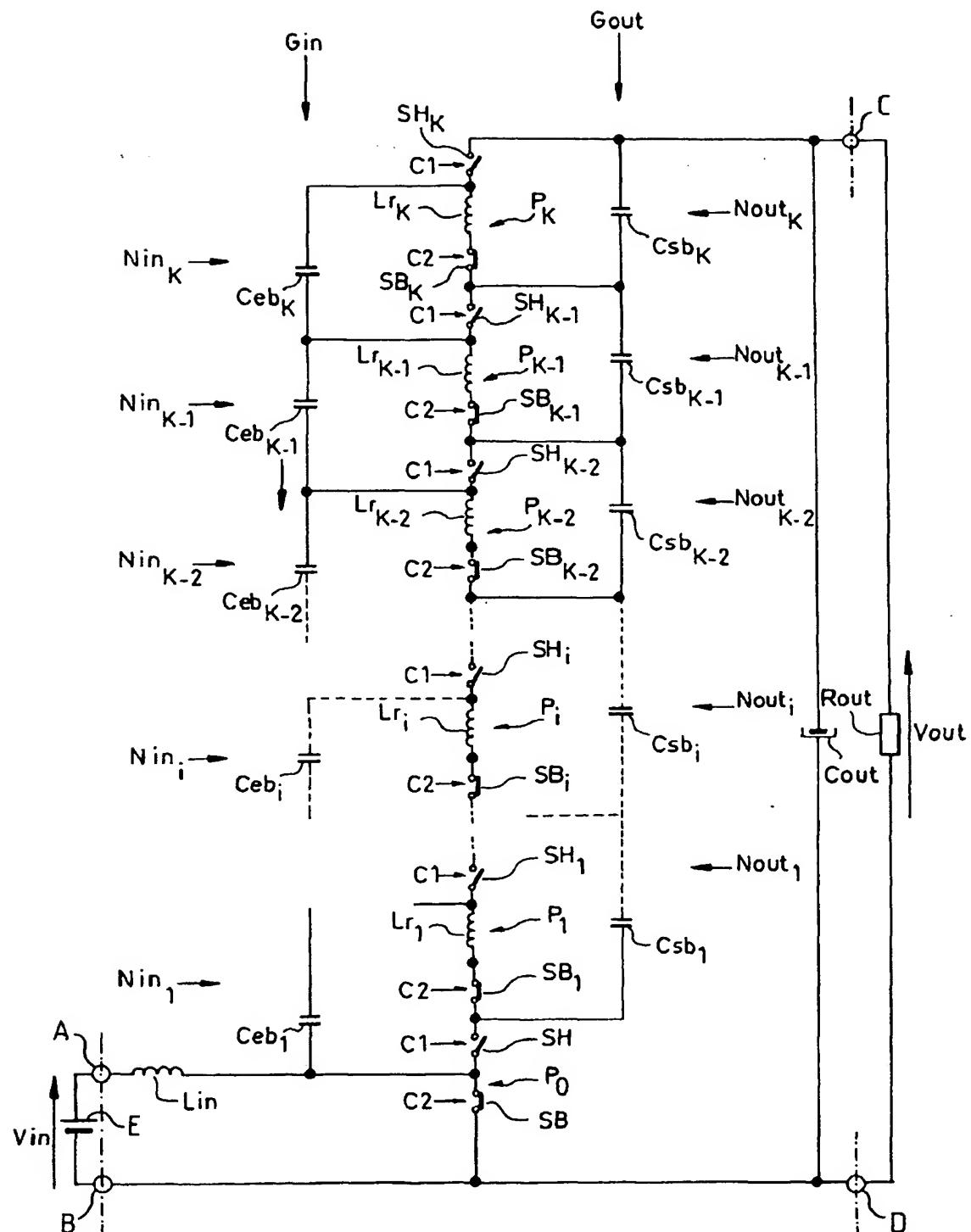


FIG. 11

11/11

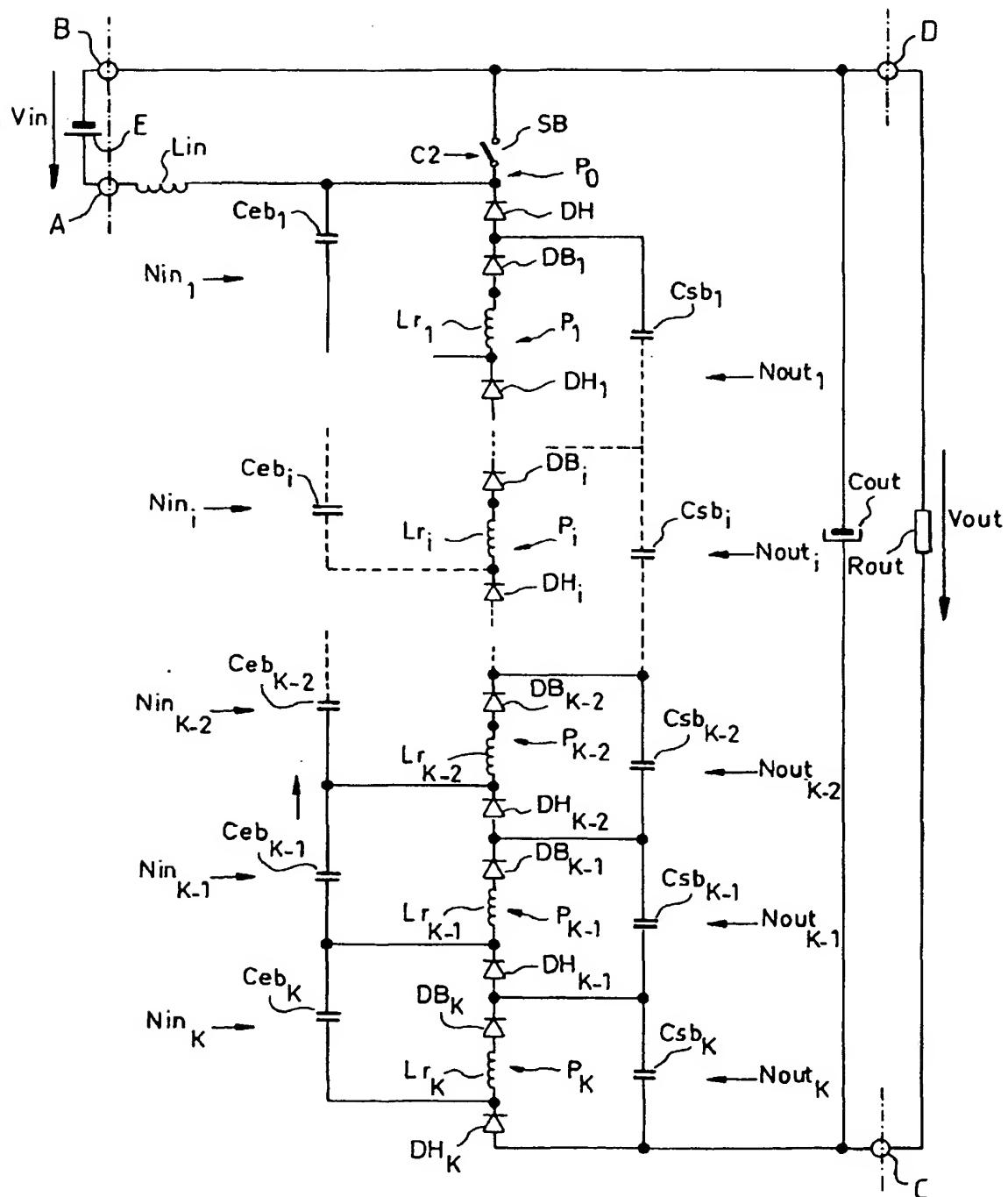


FIG.12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/051543

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02M3/158

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 199 788 A (ST MICROELECTRONICS SRL) 24 April 2002 (2002-04-24) the whole document -----	1-13
A	EP 0 295 858 A (VARIAN ASSOCIATES) 21 December 1988 (1988-12-21) abstract; figure 1 -----	1-13

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 November 2004

Date of mailing of the international search report

02/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gentili, L

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP2004/051543

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP 1199788	A	24-04-2002	EP	1199788 A1 24-04-2002
EP 0295858	A	21-12-1988	US	4821165 A 11-04-1989
			AU	608854 B2 18-04-1991
			AU	1765988 A 15-12-1988
			CA	1308779 C 13-10-1992
			DE	3889012 D1 19-05-1994
			DE	3889012 T2 21-07-1994
			EP	0295858 A2 21-12-1988
			JP	1016261 A 19-01-1989
			US	4945464 A 31-07-1990

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/EP2004/051543

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H02M3/158

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 H02M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 1 199 788 A (ST MICROELECTRONICS SRL) 24 avril 2002 (2002-04-24) le document en entier -----	1-13
A	EP 0 295 858 A (VARIAN ASSOCIATES) 21 décembre 1988 (1988-12-21) abrégé; figure 1 -----	1-13

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

26 novembre 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

02/12/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Gentili, L

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/EP2004/051543

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 1199788	A	24-04-2002	EP	1199788 A1		24-04-2002
EP 0295858	A	21-12-1988	US	4821165 A		11-04-1989
			AU	608854 B2		18-04-1991
			AU	1765988 A		15-12-1988
			CA	1308779 C		13-10-1992
			DE	3889012 D1		19-05-1994
			DE	3889012 T2		21-07-1994
			EP	0295858 A2		21-12-1988
			JP	1016261 A		19-01-1989
			US	4945464 A		31-07-1990